

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Umum

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.16 Tahun 2005 yang dimaksud dengan air baku adalah air yang berasal dari sumber air permukaan, cekungan air tanah dan/atau air hujan yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai air baku untuk air minum. Air minum adalah air minum rumah tangga yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum.

Menurut Tri Joko (2010: 1) Penyediaan air minum adalah kegiatan menyediakan air minum untuk memenuhi kebutuhan masyarakat agar mendapatkan kehidupan yang sehat, bersih, dan produktif.

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 18/PRT/M/2007 yang dimaksud dengan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) adalah satu kesatuan sistem fisik dan non-fisik dari sarana dan prasarana air minum. Pengelolaan SPAM bertujuan untuk menghasilkan air minum yang sesuai dengan standar yang berlaku dan agar prasarana dan sarana air minum terpelihara dengan baik sehingga dapat melayani kebutuhan air minum masyarakat secara berkesinambungan.

Sistem penyediaan air minum terdiri dari:

1. Unit Air Baku
2. Unit Produksi
3. Unit Distribusi
4. Unit Pelayanan

Jaringan distribusi adalah sistem pipa pendistribusian air yang telah diolah menjadi air bersih menuju ke masyarakat. Sistem pendistribusian air ke masyarakat, dapat dilakukan secara langsung dengan gravitasi maupun dengan sistem pompa. Hal terpenting yang harus dilakukan dalam pendistribusian air adalah tersedianya jumlah air yang cukup dan tekanan yang memenuhi, serta menjaga keamanan kualitas air yang berasal dari instalasi pengolahan.

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 18/PRT/M/2007 ketentuan-ketentuan yang harus dipenuhi dalam perancangan denah (*lay-out*) sistem distribusi adalah sebagai berikut:

1. Denah (*lay-out*) sistem distribusi ditentukan berdasarkan keadaan topografi wilayah pelayanan dan lokasi instalasi pengolahan air.
2. Tipe sistem distribusi ditentukan berdasarkan keadaan topografi wilayah pelayanan.
3. Jika keadaan topografi tidak memungkinkan untuk sistem gravitasi selurunya, diusulkan kombinasi sistem gravitasi dan pompa. Jika semua wilayah pelayanan relatif datar, dapat digunakan sistem perpompaan langsung, kombinasi dengan menara air, atau penambahan pompa penguat (*booster pump*).
4. Jika terdapat perbedaan elevasi wilayah pelayanan terlalu besar atau lebih dari 40 m, wilayah pelayanan dibagi menjadi beberapa *zone* sedemikian rupa sehingga memenuhi persyaratan tekanan minum.

2.2 Sumber Air Baku

Air baku merupakan air yang didistribusikan dalam penyediaan air bersih yang harus memenuhi baku mutu tertentu sebagai bahan baku untuk air bersih. Air baku dapat diperoleh dari beberapa sumber air seperti air hujan, air tanah, mata air dan air permukaan. Dalam perencanaan, sebelum menentukan sumber air baku mana yang dipakai harus diperhatikan kualitas, kuantitas, dan kontinuitas sumber air baku tersebut. Hal ini dikarenakan masing-masing sumber air baku memiliki karakter yang berbeda sehingga perlu direncanakan dengan baik.

2.2.1 Air Permukaan

Air permukaan adalah air yang berada di permukaan bumi yang tidak mengalami infiltrasi ke bawah tanah. Terdiri dari air sungai, air rawa, air danau, dan air waduk. Air sungai merupakan alternatif sumber air yang paling mudah diperoleh karena kondisinya yang mudah dijangkau dan terletak dekat dengan pemukiman masyarakat. Fluktuasi air sungai tinggi karena dipengaruhi oleh air hujan. Dari segi kualitasnya air sungai banyak yang tidak memenuhi syarat sebagai air bersih

sehingga perlu pengolahan lebih lanjut. Sedangkan air rawa/danau/waduk, merupakan genangan air dengan volume relatif besar yang terdapat pada cekungan permukaan tanah baik alamiah maupun buatan.

2.2.2 Air Hujan

Sumber air baku yang berasal dari air hujan pada umumnya digunakan sebagai suplemen, bukan sumber utama. Hal ini dikarenakan curah hujan fluktuasinya sangat tinggi. Dengan demikian pemanfaatannya sebagai sumber air baku terbatas pada daerah dengan curah hujan tinggi. Selain itu hal yang perlu diperhatikan adalah ketersediaan tempat penangkapan air hujan, kualitas air serta pengelolaannya yang tepat.

2.2.3 Air Tanah

Air tanah merupakan air yang terdapat dalam lapisan tanah. Lapisan yang dimaksud disebut akuifer, yang mampu menampung air dalam kuantitas besar. Pada beberapa daerah tertentu air tanah sering dimanfaatkan sebagai sumber air baku mengingat kuantitasnya besar. Kuantitas dan kontinuitas air tanah dipengaruhi oleh luasnya daerah resapan, sehingga berkurangnya ruang resapan mengakibatkan kuantitas dan kontinuitasnya juga berkurang. Air tanah terdiri dari air tanah dangkal, air tanah dalam, dan mata air.

1. Air tanah dangkal

Terjadi karena proses peresapan air dari permukaan tanah. Terdapat pada kedalaman kurang lebih 15 meter dari permukaan. Sebagai sumur untuk sumber air bersih cukup baik dari segi kualitas tetapi kuantitas sangat tergantung pada musim.

2. Air tanah dalam

Berada di bawah lapisan kedap air. Pengambilan dilakukan dengan pengeboran. Umumnya terdapat pada kedalaman 80-300 meter dibawah permukaan tanah. Dapat terjadi artesis (semburan ke permukaan) jika tekanan besar.

3. Mata Air

Mata air adalah air tanah dalam yang merupakan sumber air yang sangat potensial karena pada umumnya berkualitas baik, terlebih dapat dialirkan ke sistem penampung secara gravitasi.

2.3 Menghitung Pertumbuhan Penduduk

Kependudukan merupakan faktor yang penting dalam suatu perencanaan kebutuhan air bersih untuk beberapa tahun kedepan. Meningkatnya jumlah penduduk setiap tahunnya menyebabkan bertambahnya kebutuhan serta permintaan pelayanan air bersih dari tahun ke tahun.

Untuk mengatasi kebutuhan air yang terus meningkat setiap tahunnya, maka perlunya antisipasi dengan merencanakan prediksi laju pertumbuhan penduduk dan prediksi kebutuhan air bersih. Ada beberapa metode untuk melakukan proyeksi penduduk. Metode tersebut adalah metode aritmatika, geometrik, dan *least square*. Berikut ini adalah tiga metode proyeksi yang digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk antara lain:

2.3.1 Metode Aritmatika

Metoda yang terutama digunakan untuk memperoyeksi penduduk pada suatu daerah dimana pertambahan penduduk terjadi secara linier. Rumus umum yang digunakan, yaitu:

$$P_n = P_0(1 + r \cdot n) \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana:

P_n = jumlah penduduk pada akhir tahun periode

P_0 = jumlah penduduk pada awal proyeksi

r = rata-rata pertumbuhan penduduk pertahun

n = kurun waktu proyeksi

2.3.2 Metode Geometrik

Dalam metode geometrik proyeksi perkembangan penduduk didasarkan pada rasio pertumbuhan rata-rata tahunan penduduk. Rumus umum yang digunakan yaitu:

$$P_n = P_o (1 + r)^n \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana:

P_n = Jumlah penduduk pada proyeksi tahun ke-n

P_o = Jumlah penduduk pada awal tahun perencanaan

r = Laju pertumbuhan penduduk pertahun (%)

n = Periode waktu perencanaan (tahun)

2.3.3 Metode Regresi Linier

Metode regresi linier didasarkan pada pertumbuhan rata-rata tahunan penduduk dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Y = a + b.X \dots\dots\dots 2.3$$

$$a = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum x \cdot \sum (xy)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots\dots\dots 2.4$$

$$b = \frac{n \sum (xy) - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana:

Y = Populasi pada tahun ke X setelah tahun dasar (tahun ke o)

X = Tambahan tahun terhitung dari tahun dasar

a, b = Variabel data

2.4 Kebutuhan Air

Kebutuhan air bersih dalam sebuah perencanaan perlu memerhatikan beberapa hal, yaitu kebutuhan air domestik dan non domestik, fluktuasi kebutuhan air bersih serta kehilangan air. Perolehan dari perhitungan kebutuhan air mempengaruhi baik atau buruknya sebuah perencanaan. Dengan mempertimbangkan hal-hal tersebut perolehan kebutuhan air bersih mendekati hasil nyata. Hasil tersebut dijadikan acuan dasar perencanaan maupun pengembangan sistem jaringan distribusi air bersih.

2.4.1 Kebutuhan Air Domestik

Kebutuhan air domestik adalah kebutuhan air yang digunakan pada tempat-tempat hunian pribadi untuk memenuhi keperluan sehari-hari seperti memasak,

minum, mencuci dan keperluan rumah tangga lainnya. Hal-hal tersebut sangat mempengaruhi perencanaan karena jumlah air yang digunakan bersifat fluktuatif. Jumlah kebutuhan air selalu bervariasi didasari oleh faktor kebiasaan, pola dan tingkat kehidupan yang didukung oleh adanya perkembangan sosial ekonomi. Kebutuhan air domestik terbagi dalam beberapa kategori seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Kriteria Perencanaan Air Bersih

No	Uraian	Kategori Kota Berdasarkan Jumlah Penduduk (Jiwa)				
		> 1.000.000	500.000-1.000.000	100.000-500.000	20.000-100.000	< 20.000
		Metro	Besar	Sedang	Kecil	Desa
1.	Konsumsi Unit Sambungan Rumah (SR) l/org/hari	190	170	150	130	30
2.	Konsumsi Unit Hidran Umum (HU) l/org/hri	30	30	30	30	30
3.	Konsumsi Unit Non Domestik (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	10-20
4.	Kehilangan Air (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20
5.	Faktor Maksimum Perhari	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
6.	Faktor Pada Jam Puncak	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
7.	Jumlah Jiwa Per SR	5	5	5	5	5
8.	Jumlah Jiwa Per HU	100	100	100	100-200	200
9.	Sisa tekan di Jaringan Distribusi (meter)	10	10	10	10	10
10.	Jam Operasi (jam)	24	24	24	24	24
11.	Volume Reservoir (%)	20	20	20	20	20
12.	SR : HU	50:50 s/d 80:20	50:50 s/d 80:20	80:20	70:30	70:30
13.	Cakupan Pelayanan (%)	90	90	90	90	70

Sumber: Dirjen Cipta Karya, 1997

2.4.2 Kebutuhan Air Non Domestik

Merupakan kebutuhan air bersih diluar keperluan rumah tangga. Kebutuhan air non domestik dipengaruhi besarnya pemakaian oleh konsumen non domestik yang terbagi atas dua yaitu penggunaan umum serta penggunaan komersil dan industri. Jumlah total kebutuhannya perlu diperhitungkan sesuai dengan fasilitas yang ada. Konsumsi non domestik terbagi menjadi beberapa kategori yaitu:

- Umum, meliputi: tempat ibadah, rumah sakit, sekolah, terminal, kantor dan lain sebagainya.
- Komersil, meliputi: hotel, pasar, pertokoan, rumah makan dan sebagainya.
- Industri, meliputi: peternakan, industri dan sebagainya.

Metode lain untuk menentukan kebutuhan air non domestik yaitu mengasumsikan 20-30 % dari kebutuhan domestik yang telah dihitung melalui proyeksi penduduk.

2.5 Fluktuasi Kebutuhan Air Bersih

Fluktuasi kebutuhan air bersih merupakan persentase air pada tiap jam yang tergantung dari aktifitas penduduk, kebiasaan penduduk serta pola tata kota sehingga kebutuhan air tiap waktu tidak sama. Fluktuasi ini juga dipengaruhi oleh kebiasaan masyarakat dalam penggunaan air bersih dan tingkat sosial ekonomi di daerah pelayanan air bersih. Fluktuasi kebutuhan air bersih dibedakan menjadi 2 jenis.

2.5.1 Fluktuasi Kebutuhan Air Bersih Pada Jam Puncak

Jumlah pemakaian air tertinggi dalam satu hari. Kebutuhan air pada jam puncak dihitung dari kebutuhan air rata-rata dikalikan dengan faktor pengali (f_p) 1,5.

2.5.2 Fluktuasi Kebutuhan Air Bersih Harian Maksimum

Kebutuhan air harian maksimum dihitung dari kebutuhan air rata-rata dikalikan dengan faktor pengali (f_m) 1,1.

2.6 Sistem Pengaliran dan Sistem Distribusi

Untuk mendistribusikan air bersih dengan perpipaan terdapat beberapa sistem pengaliran yang tergantung pada beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut adalah keadaan topografi, lokasi sumber air baku, dan elevasi daerah layanan. Sistem pengaliran tersebut antara lain:

1. Pengaliran gravitasi

Sistem pengaliran dengan gravitasi dilakukan dengan memanfaatkan tekanan akibat beda elevasi muka tanah, dalam hal ini jika daerah pelayanan terletak lebih rendah dari sumber air. Diperlukan beda elevasi antara sumber dan daerah layanan yang cukup besar sehingga tekanan yang diperlukan dapat dipertahankan.

2. Pengaliran pemompaan

Sistem pengaliran dengan pemompaan digunakan di daerah yang relatif datar dan tidak memiliki beda elevasi yang cukup besar. Distribusi air ke daerah layanan dengan mengandalkan tekanan dari pompa. Pada sistem ini tekanan sistem yang optimal perlu diperhitungkan sehingga tidak terjadi kelebihan atau kekurangan tekanan yang dapat mengganggu sistem pengaliran.

3. Sistem kombinasi

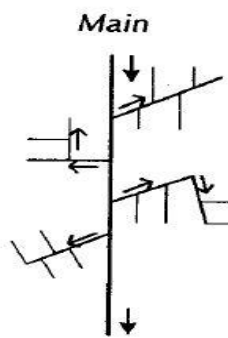
Sistem ini merupakan sistem gabungan dari sistem gravitasi dan sistem pemompaan. Pada sistem ini, air sebelum didistribusikan terlebih dahulu ditampung di reservoir. Pendistribusian air dapat dilakukan melalui sistem gravitasi maupun sistem pemompaan.

Rangkaian dari beberapa pipa dalam distribusi air bersih/minum disebut jaringan pipa. Bentuk sistem jaringan perpipaan tergantung pada pola jalan yang ada dan jalan rencana. Selain itu juga bergantung pada topografi, pola perkembangan daerah pelayanan dan lokasi instalasi pengolahan. Pada dasarnya

ada dua pola sistem jaringan distribusi yaitu sistem cabang dan sistem loop (melingkar).

1. Sistem cabang

Sistem cabang adalah sistem pendistribusian air bersih yang bersifat terputus membentuk cabang-cabang sesuai dengan daerah layanan. Pada sistem ini air mengalir dalam satu arah dan area layanan yang disuplai melalui satu jalur pipa utama. (Tri Joko, 2010: 17)



Gambar 2.1 Sistem cabang

Sumber: Unit Air Baku dalam Sistem Penyediaan Air Minum, Tri Joko (2010)

Kelebihan sistem cabang:

- Sistem ini sederhana dan desain jaringan perpipaan juga sederhana
- Cocok untuk daerah yang sedang berkembang
- Pengambilan dan tekanan pada titik manapun dapat dihitung dengan mudah.
- Pipa dapat ditambah bila diperlukan (pengembangan kota)
- Dimensi pipa lebih kecil karena hanya melayani populasi yang terbatas.
- Membutuhkan beberapa katup untuk mengoperasikan sistem.

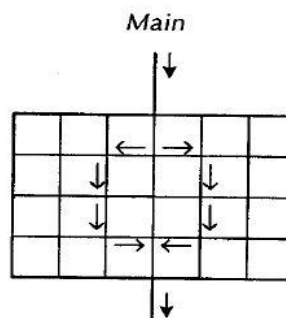
Kekurangan sistem cabang:

- Saat terjadi kerusakan, air tidak tersedia untuk sementara waktu.
- Tidak cukup air untuk memadamkan kebakaran karena suplai air hanya dari pipa tunggal
- Pada jalur buntu, mungkin terjadi pencemaran dan sedimentasi jika tidak ada penggelontoran.

- Tekanan tidak mencukupi ketika dilakukan penambalan areal ke dalam sistem penyediaan air minum.

2. Sistem *loop* (melingkar)

Sistem *loop* terdiri dari pipa-pipa utama dan sekunder yang saling berhubungan satu sama lain dan membentuk *loop* (melingkar). (Tri Joko, 2010: 19)



Gambar 2.2 Sistem *loop* (melingkar)

Sumber: Unit Air Baku dalam Sistem Penyediaan Air Minum, Tri Joko (2010)

Kelebihan Sistem Melingkar:

- Setiap titik mendapatkan suplai dari dua arah
- Saat terjadi kerusakan pipa, air dapat disediakan dari arah lain.
- Untuk memadamkan kebakaran, air tersedia dari segala arah
- Desain pipa mudah

Kekurangan Sistem Melingkar:

- Membutuhkan lebih banyak pipa.

2.7 Perencanaan Teknis Unit Distribusi

Perencanaan teknis pengembangan SPAM unit distribusi dapat berupa jaringan perpipaan yang terkoneksi satu dengan lainnya membentuk jaringan tertutup (*loop*), sistem jaringan distribusi bercabang (*dead-end distribution system*), atau kombinasi dari kedua sistem tersebut (*grade system*). Bentuk jaringan pipa distribusi ditentukan oleh kondisi topografi, lokasi reservoir, luas wilayah

pelayanan, jumlah pelanggan dan jaringan jalan dimana pipa akan dipasang. Pada Tabel 2.2 dijelaskan kriteria tentang pipa distribusi.

Tabel 2.2 Kriteria Pipa Distribusi

No	Uraian	Notasi	Kriteria
1	Debit Perencanaan	Q	Kebutuhan air jam puncak
		puncak	$Q_{\text{peak}} = F_{\text{peak}} \times Q_{\text{rata-rata}}$
2	Faktor jam puncak	F.puncak	1.1 - 3
3	Kecepatan aliran air dalam pipa		
	a) Kecepatan Minimum	V min	0.3 - 0.6 m/det
	b) Kecepatan Maksimum		
	- Pipa PVC atau ACP	V. max	3 - 4.5 m/det
	- Pipa baja atau DCIP	V. max	6 m/det
4	Tekanan air dalam pipa		
	a) Tekanan Minimum	h min	(0.5 - 1) atm, pada titik jangkauan pelayanan terjauh.
	b) Tekanan Maksimum		
	- Pipa PVC atau ACP	h max	6 - 8 atm
	- Pipa baja atau DCIP	h max	10 atm
	- Pipa PE 100	h max	12.4 Mpa
	- Pipa PE 80	h max	9.0 MPa

Sumber: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.18/PRT/M/2007

2.8 Reservoir

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 18/PRT/M/2007 yang dimaksud dengan reservoir adalah tempat penyimpanan air untuk sementara sebelum didistribusikan kepada pelanggan atau konsumen. Air yang dihasilkan dari IPA dapat ditampung dalam reservoir air yang berfungsi untuk menjaga kesetimbangan antara produksi dengan kebutuhan, sebagai penyimpan kebutuhan air dalam kondisi darurat, dan sebagai penyediaan kebutuhan air untuk keperluan instalasi. Reservoir air dibangun dalam bentuk reservoir tanah yang umumnya untuk menampung produksi air dari sistem IPA, atau dalam bentuk menara air yang

umumnya untuk mengantisipasi kebutuhan puncak di daerah distribusi. Reservoir air dibangun baik dengan konstruksi baja maupun konstruksi beton bertulang.

2.8.1 Lokasi dan Tinggi Reservoir

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 18/PRT/M/2007 lokasi dan tinggi reservoir ditentukan berdasarkan pertimbangan sebagai berikut:

- a. Reservoir pelayanan di tempat sedekat mungkin dengan pusat daerah pelayanan, kecuali kalau keadaan tidak memungkinkan. Selain itu harus dipertimbangkan pemasangan pipa paralel;
- b. Tinggi reservoir pada sistem gravitasi ditentukan sedemikian rupa sehingga tekanan minimum sesuai hasil perhitungan hidrolis di jaringan pipa distribusi. Muka air reservoir rencana diperhitungkan berdasarkan tinggi muka air minimum;
- c. Jika elevasi muka tanah wilayah pelayanan bervariasi, maka wilayah pelayanan dapat dibagi menjadi beberapa zona wilayah pelayanan yang dilayani masing-masing dengan satu reservoir.

2.8.2 Menghitung Volume Reservoir

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 18/PRT/M/2007 berikut ini adalah cara untuk menentukan volume reservoir.

a. Reservoir Pelayanan

Volume reservoir pelayanan (*service reservoir*) ditentukan berdasarkan:

- Jumlah volume air maksimum yang harus ditampung pada saat pemakaian air minimum ditambah volume air yang harus disediakan pada saat pengaliran jam puncak karena adanya fluktuasi pemakaian air di wilayah pelayanan dan periode pengisian reservoir.
- Cadangan air untuk pemadam kebakaran kota sesuai dengan peraturan yang berlaku untuk daerah setempat Dinas Kebakaran.
- Kebutuhan air khusus, yaitu pengurusan reservoir, taman dan peristiwa khusus.

b. Reservoir Penyeimbang

Volume efektif reservoir penyeimbang (*balance reservoir*) ditentukan berdasarkan keseimbangan aliran keluar dan aliran masuk reservoir selama pemakaian air di daerah pelayanan. Sistem pengisian reservoir dapat dengan sistem pompa maupun gravitasi. Suplai air ke konsumen dilakukan secara gravitasi.

Metoda Perhitungan Volume Efektif Reservoir:

- Secara Tabulasi

Dengan cara tabulasi, volume efektif adalah jumlah selisih terbesar yang positif (m^3) dan selisih terbesar yang negatif (m^3) antara fluktuasi pemakaian air dan suplai air ke reservoir. Hasil perhitungan nilai kumulatif dibuat dalam bentuk tabel.

Berdasarkan Triatmadja (2016 : 201) di peroleh data-data dari hasil survei kebutuhan air, seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 2.3 berikut ini.

Tabel 2.3 Koefisien Tingkat Pemakaian Air Tiap Jam

Jam	Koefisien	Jam	Koefisien	Jam	Koefisien
1.00	0	9.00	0.86	17.00	2.29
2.00	0	10.00	1.14	18.00	1.14
3.00	0.29	11.00	1.43	19.00	1.14
4.00	0.57	12.00	1.43	20.00	0.86
5.00	1.14	13.00	1.71	21.00	0.57
6.00	1.71	14.00	1.43	22.00	0.57
7.00	2	15.00	0.86	23.00	0
8.00	1.14	16.00	1.71	24.00	0

Sumber: Triatmadja, 2016

- Metoda Kurva Masa

Volume efektif didapat dari jumlah persentase akumulasi surplus terbesar pemakaian air ditambah akumulasi defisit terbesar pemakaian air terhadap akumulasi pengaliran air ke reservoir (bila pengaliran air ke reservoir dilakukan selama 24 jam).

- Secara Persentase

Volume efektif ditentukan sebesar sekian persen dari kebutuhan air maksimum per hari minimal 15%. Penentuan dengan cara ini tergantung pada kebiasaan kota yang bersangkutan, karena itu harus berdasarkan pengalaman.

2.9 Hukum Kontinuitas

Menurut Triatmodjo (2012: 136) apabila zat cair tak kompresibel mengalir secara kontinyu melalui pipa atau saluran terbuka, dengan tampang aliran konstan ataupun tidak konstan, maka volume cairan yang lewat tiap satuan waktu adalah sama di semua penampang.

$$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{keluar}}$$

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2 \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana :

Q = Debit aliran (m^3/det)

A = Luas penampang (m^2)

V = kecepatan aliran (m/det)

2.10 Kecepatan Rerata

Menurut Triatmodjo (2015: 33) untuk mencari kecepatan rerata, dipandang suatu pias kecil aliran. Apabila debit aliran melalui pipa dengan diameter D adalah Q , maka Kecepatan Rerata V diberikan oleh:

$$V = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots 2.7$$

Dimana :

Q = Debit Aliran (m^3/detik)

V = Kecepatan Aliran (m/detik)

A = Luas Penampang (m^2)

2.11 Kehilangan Tenaga Aliran Melalui Pipa

Menurut Triatmodjo (2015: 25) pada zat cair mengalir di dalam bidang batas (pipa, saluran terbuka atau bidang datar) akan terjadi tegangan geser dan gradien kecepatan pada seluruh medan aliran karena adanya kekentalan. Tegangan geser tersebut akan menyebabkan kehilangan tenaga selama pengaliran. Persamaan Bernoulli:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma_w} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma_w} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f \dots\dots\dots 2.8$$

Dimana:

Z_1 =	Elevasi Pipa 1 dari datum (m)
Z_2 =	Elevasi Pipa 2 dari datum (m)
P_1 =	Tekanan di titik 1 (kg/m ²)
P_2 =	Tekanan di titik 2 (kg/m ²)
V_1 =	Kecepatan aliran di titik 1 (m/det)
V_2 =	Kecepatan aliran di titik 2 (m/det)
g =	Gravitasi (m/det ²)
γ_w =	Berat jenis air (kg/m ³)
h_f =	Kehilangan energi (m)

2.12 Kehilangan Tekanan Air

Kehilangan tekanan (h_f) dalam pipa terjadi akibat adanya *friction* antara fluida dengan permukaan pipa. Kehilangan tekanan dibedakan menjadi dua macam, yaitu:

2.12.1 Mayor Losses

1. Persamaan Darcy Wesbach

Kehilangan energi utama sepanjang pipa karena gesekan menurut Darcy Wesbach di berikan persamaan:

$$h_f = f \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2g} \dots\dots\dots 2.9$$

Dimana:

h_f = Kehilangan energi (m)

f = koefisien gesek (Darcy)

V = Kecepatan Aliran Air (m/detik)

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/dt²)

D = Diameter Pipa (m)

L = Panjang Pipa (m)

2. Persamaan Hazen Williams

Persamaan ini sangat dikenal di USA. Persamaan kehilangan energy ini sedikit lebih sederhana dibandingkan Persamaan Dary Wesbach karena koefisien kehilangan (C_{HW})-nya tidak berubah terhadap angka Reynold. Persamaan ini hanya bisa digunakan untuk air.

$$Q = C_u \times C_{HW} \times d^{2.63} \times i^{0.54} \dots\dots\dots 2.10$$

Dari turunan rumus di atas, kemudian didapatkan persamaan 2.11

$$H_f = \frac{Q^{1.85}}{(0.2785 \cdot D^{2.63} \cdot C)^{1.85}} \times L \dots\dots\dots 2.11$$

Dimana:

C_u = 0.2785

C_{HW}/C = Koefisien Hazen Williams

i = Kemiringan atau *slope* garis tenaga ($i = \frac{H_f}{L}$)

Q = Debit (m³/detik)

D = Diameter pipa (m)

H_f = Kehilangan Energi (m)

L = Panjang Pipa (m)

2.12.2 Minor Losses

Kehilangan tenaga yang terjadi pada tempat yang memungkinkan adanya perubahan penampang pipa, sambungan, belokan dan katup (kehilangan tenaga skunder). (Triatmodjo, 2010)

$$hf = K \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots 2.12$$

Dimana :

K = konstanta kontraksi (sudah tertentu)

2.13 Program Waternet

Program waternet ini dirancang untuk melakukan simulasi aliran air atau fluida lainnya (bukan gas) dalam pipa baik dengan jaringan tertutup (*loop*) maupun jaringan terbuka dan sistem pengaliran (distribusi) fluida dapat menggunakan sistem gravitasi, sistem pompanisasi maupun keduanya. WaterNet dirancang dengan memberikan banyak kemudahan sehingga pengguna dengan pengetahuan minimal tentang jaringan distribusi (aliran dalam pipa) dapat menggunakannya juga. *Input data* dibuat interaktif sehingga memudahkan dalam simulasi jaringan dan memperkecil kesalahan pengguna saat menggunakan WaterNet. Hasil hitungan yang tidak dapat diedit, ditampilkan dan dilindungi agar tidak diedit oleh pengguna. Secara umum pointer mouse akan menunjukkan karakteristik apakah data dapat diubah, diganti atau tidak.

Fasilitas WaterNet dibuat agar proses *editing* dan analisa pada perancangan dan optimasi jaringan distribusi air dapat dilakukan dengan mudah. *Output* WaterNet dibuat dalam bentuk *database*, *text* maupun grafik yang memudahkan pengguna untuk selanjutnya memprosesnya langsung menjadi *hardcopy* atau proses lebih lanjut dengan program lain sebagai laporan yang menyeluruh.

Kemampuan dan fasilitas WaterNet dalam simulasi jaringan pipa secara garis besar adalah sebagai berikut:

- Menghitung debit dan tekanan di seluruh jaringan pipa pada setiap *node* yang merupakan titik dengan elevasi tidak berubah dengan instalasi reservoir, pompa, katup, dan tangki.
- Menghitung demand atau air yang dapat diambil pada sebuah node jika tekanan pada node tersebut telah ditentukan.
- Fasilitas pompa dengan persamaan Q - H (debit terhadap *head*) mengikuti persamaan daya tetap (*constant power*), Parabola (satu titik) dan Parabola

(3 titik). Pengguna menentukan debit dan tekanan (*head*) rencana pompa tersebut atau menggunakan *power* pompa pada tipe pompa daya tetap. Fasilitas pompa dilengkapi dengan waktu saat pompa bekerja (*on*) dan tidak bekerja (*off*). Pompa dapat diatur penggunaan waktunya pada jam-jam tertentu oleh pengguna, atau bekerja terus sepanjang simulasi. Pompa juga dapat diatur sistem kerjanya berdasarkan elevasi tangki yang disuplai, sehingga pompa secara otomatis tidak berkerja pada saat tangki telah penuh dan bekerja kembali saat tangki hampir kosong.

- Fasilitas *default* diberikan untuk memudahkan pengguna dalam *input* data. Data default akan digunakan untuk setiap pipa, pompa, node yang ditentukan oleh pengguna.
- Fasilitas pustaka untuk kekasaran pipa dan kehilangan tinggi tenaga sekunder. Fasilitas ini mempermudah pengguna untuk menentukan atau memperkirakan nilai diameter kekasaran pipa serta kehilangan tinggi tenaga sekunder di setiap belokan, sambungan dan lain-lain.
- Fasilitas katup PRV (*Pressure Reducing Valve*), FCV (*Flow Control Valve*), PBV (*Pressure Breaking Valve*) dan TCV (*Throttling Control Valve*) yang sangat diperlukan oleh jaringan pipa.
- Fasilitas tipe aliran berubah yang sangat berguna untuk simulasi perubahan elevasi di dalam tangki akibat fluktuasi pemakaian air oleh masyarakat yang dipengaruhi oleh jumlah pemakaian air berdasarkan jam – jaman. Pada akhirnya fasilitas ini dapat digunakan untuk menghitung volume tangki yang optimal serta menguji kinerja jaringan untuk debit yang fluktuatif. Pengguna dapat memeriksa tinggi tekanan dan debit di setiap *node*, serta debit dan kecepatan aliran di setiap pipa, untuk mengoptimalkan jaringan. Fasilitas tipe aliran berubah menghitung distribusi aliran dan tekanan di seluruh jaring pipa setiap *time step* (interval waktu) 60 menit, 30 menit, 15 menit dan 6 menit.
- Fluktuasi kebutuhan air di setiap *node* dapat ditentukan oleh pengguna. Fasilitas ini membuat simulasi jaringan distribusi menjadi lebih realistis karena kebutuhan setiap *node* dapat dibuat sesuai dengan kebutuhan

sebenarnya pada lokasi perencanaan, misalnya kebutuhan air untuk perumahan, pabrik, rumah sakit, sekolah, hydran kebakaran dan lain lain yang berbeda setiap jamnya. Kebutuhan di setiap node tidak hanya terbatas pada satu tipe kebutuhan sesuai dengan kondisi yang mungkin terjadi di lapangan. Waternet menyediakan tipe campuran dengan berbagai kebutuhan untuk tiap tipe.

- Fasilitas *editing* dalam bentuk grafik interaktif sangat memudahkan pengguna dalam merencanakan jaringan pipa. Fasilitas ini meliputi menggambar dan menentukan pipa baik arah maupun hubungan (sambungan) antara pipa satu dengan pipa lainnya dalam jaringan, menentukan letak pompa, reservoir, tangki dan katup. Menghapus pipa, reservoir, tangki, pompa dan katup yang tak dikehendaki. Fasilitas notasi *node* dan pipa yang memudahkan pengguna mengingat lokasi yang dimaksud dan secara sepiintas melihat data jaringan maupun hasil hitungan. *Editing* dapat juga dilakukan dengan berfokus pada tabel misalnya tabel data node atau pipa. Pada saat yang sama lokasi yang diedit pada tabel ditunjukkan pada gambar jaringan pipa. Dengan demikian pengguna dapat mengenali pipa atau node yang sedang diedit dan bukan sekedar berhadapan dengan angka-angka seperti nomer node dan pipa.
- Hasil hitungan secara keseluruhan dapat ditampilkan dengan fasilitas lain baik dalam bentuk grafik maupun tabel. WaterNet menyediakan fasilitas untuk menampilkan grafik tekanan, kebutuhan maupun perubahan elevasi atau kedalaman dalam tangki serta fasilitas untuk menampilkan hasil dalam tabel berformat *text*. Hasil tampilan tersebut akan dengan mudah dianalisis, dan jika hasil menunjukkan bahwa jaringan belum memuaskan, jaringan dapat dengan mudah diedit kembali.
- Fasilitas mengubah posisi *node* dan pipa yang tidak diinginkan dapat dilakukan dengan sangat mudah mengikuti gambar peta yang ada. Dalam hal ini, jika penggambaran pipa dipilih dengan tipe skalatis (pilihan diberikan oleh WaterNet), maka perpindahan node juga merupakan perubahan panjang pipa yang berhubungan dengan node tersebut.

- Fasilitas penggambaran secara skalatis juga merekam panjang pipa baik pipa lurus maupun belok, berdasarkan koordinat x,y,z . Maksudnya panjang pipa dihitung berdasarkan lokasi x,y serta ketinggian atau elevasi kedua ujung pipa.
- Fasilitas *Link Importance* sangat dibutuhkan untuk melihat tingkat layanan tiap pipa terhadap keseluruhan jaringan sehingga jumlah pipa dalam suatu jaringan distribusi dapat dihemat (dikurangi), atau sebaliknya, jika *Link Importance* dari sebuah pipa terlalu tinggi maka perlu dipikirkan kemungkinan pipa paralel.
- Kontur dapat dibuat berdasarkan peta kontur topografi yang dapat mempermudah input elevasi node mengikuti kontur yang dibuat.
- Masih banyak fasilitas lain yang tersedia yang dirasakan sangat membantu dalam usaha menghitung dan merencanakan jaringan distribusi air atau fluida dalam.

